

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001235775 A**

(43) Date of publication of application: **31.08.01**

(51) Int. Cl.

**G02F 1/37**  
**H01S 3/108**

(21) Application number: **2000079927**

(22) Date of filing: **22.03.00**

(30) Priority: **23.03.99 JP 11077075**  
**14.12.99 JP 11354849**

(71) Applicant: **MITSUBISHI MATERIALS CORP**

(72) Inventor: **SUGAWARA TAMOTSU**  
**SHIRAISHI HIROYUKI**  
**KOMATSU RYUICHI**  
**VALENTIN PETROV**

(54) **WAVELENGTH CONVERTING DEVICE  
CONSISTING OF LITHIUM TETRABORATE  
SINGLE CRYSTAL, LASER DEVICE USING THE  
SAME AND METHOD FOR WAVELENGTH  
CONVERSION BY USING THE SAME**

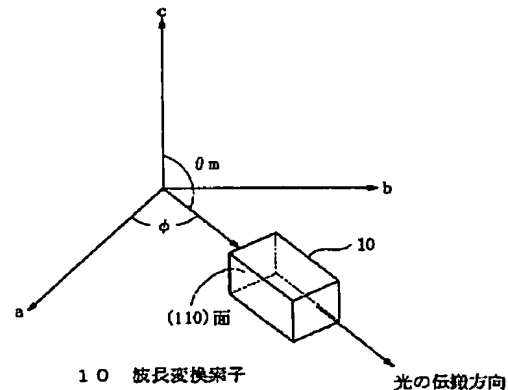
wavelength converting device consisting of a lithium tetraborate single crystal is prepared by cutting the crystal in such a manner that the propagation direction is determined to the direction with angle  $\theta_m$  from the c axis satisfying  $\theta_m = 90 \pm 2^\circ$ .

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To stably generate laser beam of continuous waves at 244 nm or 248.25 nm by using a wavelength converting device consisting of a lithium tetraborate single crystal which is suitable for the wavelength conversion by noncritical phase matching and has wide latitude for angles and durability against laser beam.

SOLUTION: The wavelength of laser beam is converted by allowing the laser beam to enter a wavelength converting device 10 consisting of a lithium tetraborate single crystal. Laser beam at 499 nm wavelength is made to enter the wavelength converting device and converted into beam of continuous waves at 244 nm wavelength by determining the relation between the direction of the crystal axis and the incident direction of the laser beam so as not to cause the beam wake-off of the laser beam propagating the wavelength converting device and by keeping the wavelength converting device to the range of  $13.5 \pm 10^\circ\text{C}$ . The

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-235775

(P 2 0 0 1 - 2 3 5 7 7 5 A)

(43) 公開日 平成13年 8 月 31 日 (2001. 8. 31)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I

ターマコード (参考)

G02F 1/37

G02F 1/37

2K002

H01S 3/108

H01S 3/108

5F072

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-79927 (P 2000-79927)

(22) 出願日 平成12年 3 月 22 日 (2000. 3. 22)

(31) 優先権主張番号 特願平11-77075

(32) 優先日 平成11年 3 月 23 日 (1999. 3. 23)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平11-354849

(32) 優先日 平成11年12月14日 (1999. 12. 14)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006264

三菱マテリアル株式会社

東京都千代田区大手町 1 丁目 5 番 1 号

(72) 発明者 菅原 保

埼玉県大宮市北袋町 1 丁目 297 番地 三菱

マテリアル株式会社総合研究所内

(72) 発明者 白石 浩之

埼玉県大宮市北袋町 1 丁目 297 番地 三菱

マテリアル株式会社総合研究所内

(72) 発明者 小松 ▲隆▼一

山口県宇部市上野中町 1 - 34 - 403

(74) 代理人 100085372

弁理士 須田 正義

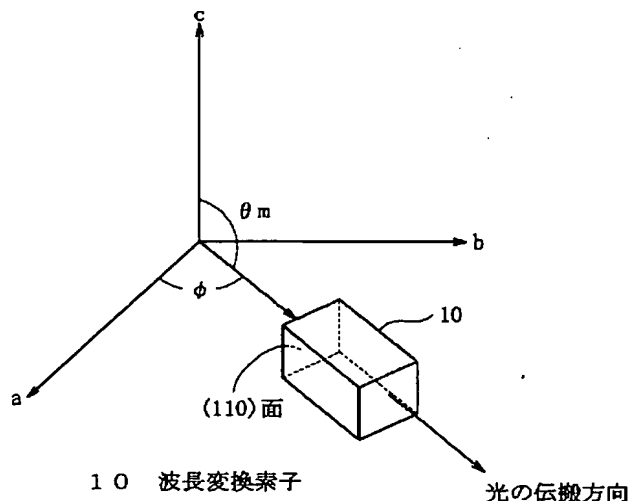
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子及びこれを用いたレーザ装置並びにこれを用いた波長変換方法

(57) 【要約】

【課題】 非臨界位相整合による波長変換に適し、角度許容幅が大きく、レーザ耐力性に優れた四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子を用いて、連続波の 2 4 4 n m 又は 2 4 8 . 2 5 n m のレーザ光を安定して発生する。

【解決手段】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子 1 0 にレーザ光を入射して波長変換する方法である。波長変換素子の中を伝搬するレーザ光がビームウォークオフを生じないようにその結晶軸の向きとレーザ光の入射方向の関係を定め、波長変換素子を 1 3 . 5 ± 1 0 ° C の温度範囲に維持し、波長が 4 8 8 n m のレーザ光を波長変換素子に入射して連続波の 2 4 4 n m の光に波長変換する。四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子は、c 軸に対してなす角度を  $\theta_m$  とするとき、 $\theta_m = 9 0 \text{ 度} \pm 2 \text{ 度}$  の関係を満たす方向に伝搬方向が定められるように切り出される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 c軸に対してなす角度を $\theta_m$ とすると、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に光の伝搬方向が定められるように切り出された四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子。

【請求項2】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)にレーザ光を入射して波長変換するレーザ装置において、

前記四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)は、その中を伝搬する前記レーザ光がビームウォークオフを生じないようにその結晶軸の向きと前記レーザ光の入射方向の関係が定められたことを特徴とする四ほう酸リチウム単結晶を用いたレーザ装置。

【請求項3】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)は、c軸に対してなす角度を $\theta_m$ とすると、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に伝搬方向が定められるように切り出された請求項2記載のレーザ装置。

【請求項4】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)を所定の温度範囲に維持する温度調整器(13)を有する請求項2又は3記載のレーザ装置。

【請求項5】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)にレーザ光を入射して波長変換する方法において、

前記四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)の中を伝搬する前記レーザ光がビームウォークオフを生じないようにその結晶軸の向きと前記レーザ光の入射方向の関係を定め、

前記波長変換素子(10)を $13.5 \pm 10^\circ\text{C}$ の温度範囲に維持し、

波長が488nmのレーザ光を前記波長変換素子(10)に入射して前記レーザ光を244nmに波長変換することを特徴とする波長変換方法。

【請求項6】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)にレーザ光を入射して波長変換する方法において、

前記四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)の中を伝搬する前記レーザ光がビームウォークオフを生じないようにその結晶軸の向きと前記レーザ光の入射方向の関係を定め、

前記波長変換素子(10)を $300 \sim 500^\circ\text{C}$ の温度範囲に維持し、

波長が496.5nmのレーザ光を前記波長変換素子(10)に入射して前記レーザ光を248.25nmに波長変換することを特徴とする波長変換方法。

【請求項7】 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子(10)は、c軸に対してなす角度を $\theta_m$ とすると、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に伝搬方向が定められるように切り出された請求項5又は6記載の波長変換方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、四ほう酸リチウム( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )単結晶からなる波長変換素子及びこれを用いたレーザ装置並びにこれを用いた波長変換方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】YAGレーザのような赤外固体レーザと入射光の波長を半分にする波長変換素子とを用いて作られる紫外領域や可視領域の短波長固体レーザは、従来のアルゴンガスレーザやエキシマレーザと比較して、安全性が高く、メンテナンスが容易である上、価格が低く小型でコンパクトである利点があるため、これまで活発な研究が行われている。

【0003】その中で最近注目されている方法として、アルゴンレーザの第2高調波(SHG)による連続波(CW)の紫外光の発生がある。この方法は、エキシマレーザでは不可能な連続光を発生することができ、またファイバグレーティング(fiber grating)には欠かさない240nm帯域の波長のレーザ光を発生できることから、将来の重要な加工光源として考えられるようになってきた。現在、このアルゴンレーザの第2高調波を作るための波長変換結晶として、BBO( $\text{BaB}_2\text{O}_4$ )のみが用いられている。この結晶は変換定数が大きいため利点がある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このBBO結晶からなる波長変換素子は臨界位相整合(Critical phase matching、CPM)型の素子であるため、角度許容幅が小さく、ウォークオフ角が大きく、更に薄い結晶を使わざるを得ず、変換効率を大きくすることができない欠点があった。ここで角度許容幅とは、位相整合角度(波長変換素子が第2高調波を発生するときのレーザ光とc軸との角度)から微小角度を振ったときに波長変換されたレーザ光の出力が正確な位相整合角度での半波長レーザ光出力の半分になるときの角度の幅(単位:  $\text{mrad} \cdot \text{cm}$ )をいう。またBBO結晶は上記第2高調波光を吸収して自己発熱を生じ、これにより位相整合条件が変わって第2高調波光の出力変動を引き起こし、結晶の寿命も短い等の多くの不具合があった。このため、アルゴンレーザの第2高調波による連続波の紫外光の発生は、大変有効な方法であるが、工業的に実用化レベルには未だ到達していなかった。

【0005】本発明の目的は、非臨界位相整合(Non-Critical Phase Matching、NCPM)による波長変換に適し、角度許容幅が大きく、レーザ耐力性に優れた四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子を提供することにある。本発明の別の目的は、非臨界位相整合で波長変換する四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子を用いて、連続波の244nm又は248.25nmの

レーザ光を安定して発生するレーザ装置及びその波長変換方法を提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、図1に示すように、c軸に対してなす角度を $\theta_m$ とするとき、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に光の伝搬方向が定められるように切り出された四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10である。請求項1に係る発明では、このように切り出された四ほう酸リチウム単結晶は、所定の温度下でレーザ入射光を光の伝搬方向にすると、ビームウォークオフがなくなり非臨界位相整合による波長変換に適した波長変換素子10になる。

【0007】請求項2に係る発明は、図2に示すように、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10にレーザ光を入射して波長変換するレーザ装置において、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10は、その中を伝搬するレーザ光がビームウォークオフを生じないようにその結晶軸の向きとレーザ光の入射方向の関係が定められたことを特徴とする。請求項3に係る発明は、請求項2に係る発明であって、図2に示すように、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10がc軸に対してなす角度を $\theta_m$ とするとき、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に伝搬方向が定められるように切り出されたレーザ装置である。請求項2又は3に係る発明では、所定の温度下でレーザ入射光を光の伝搬方向にすると、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10がビームウォークオフを生じず、非臨界位相整合によるレーザ装置となる。

【0008】請求項4に係る発明は、請求項2又は3に係る発明であって、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10を所定の温度範囲に維持する温度調整器13を有するレーザ装置である。請求項4に係る発明では、温度調整器13により波長変換素子10が所定の温度に維持される。

【0009】請求項5に係る発明は、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10にレーザ光を入射して波長変換する方法において、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10の中を伝搬するレーザ光がビームウォークオフを生じないようにその結晶軸の向きとレーザ光の入射方向の関係を定め、波長変換素子10を13.5 $\pm$ 1.0 $^\circ\text{C}$ の温度範囲に維持し、波長が488nmのレーザ光を波長変換素子10に入射してレーザ光を244nmに波長変換することを特徴とする。請求項5に係る発明では、連続波の244nmのレーザ光を安定して発生することができる。

【0010】請求項6に係る発明は、図4に示すように、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10にレーザ光を入射して波長変換する方法において、四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10の中を伝搬するレーザ光がビームウォークオフを生じないように

その結晶軸の向きとレーザ光の入射方向の関係を定め、波長変換素子10を300 $\sim$ 500 $^\circ\text{C}$ の温度範囲に維持し、波長が496.5nmのレーザ光を波長変換素子10に入射してレーザ光を248.25nmに波長変換することを特徴とする。請求項6に係る発明では、連続波の248.25nmのレーザ光を安定して発生することができる。

【0011】請求項7に係る発明は、請求項5又は6に係る発明であって、更に図1に示すように、四ほう酸リチウム単結晶10がc軸に対してなす角度を $\theta_m$ とするとき、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に伝搬方向が定められるように切り出された波長変換方法である。請求項7に係る発明では、連続波の244nm又は248.25nmのレーザ光を非臨界位相整合で安定して発生することができる。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】本発明で用いられる四ほう酸リチウム単結晶は、他の結晶に比べて、潮解性が小さく耐湿性に優れ、レーザ損傷しきい値（レーザ耐力）が著しく大きく、赤外線から本発明の紫外領域のレーザ光を得るための波長変換結晶に適する。またレーザ入射光の波長に対する透明領域が広く、良質の大型結晶の育成が可能で、加工性に優れる。しかし、この四ほう酸リチウム単結晶は波長変換効率を示す非線形光学定数が小さいことが欠点として挙げられる。この変換効率は四ほう酸リチウム単結晶の結晶長を大きくすれば、その変換効率は結晶長の2乗に比例するので、改善することができる。ところが結晶長を大きくすると、角度許容幅や波長許容幅等が狭くなる。また波長変換した光は入射光と波長が異なるので、屈折率の分散により入射光の進行方向に対してある角度（ビームウォークオフ角）をもって発生する。このビームウォークオフにより、変換効率が減少するとともに、入射光のビーム横断面が真円であるとき、変換した光のビーム横断面は扁平となり楕円になる。

【0013】このため、本発明者らは、四ほう酸リチウム単結晶においてビームウォークオフを生じない非臨界位相整合により、単結晶の単位長さ当りの波長変換効率を低下させることなく、波長変換できる方法を実現し、本発明を達成した。即ち、本発明の方法によれば、従来のBBO結晶に代わって、紫外線の吸収が小さい四ほう酸リチウム単結晶を用いて、アルゴンレーザの例えば波長488nm又は496.5nmでビームウォークオフを生じない非臨界位相整合により角度許容幅が極めて大きくなり、連続波の244nm又は248.25nmのレーザ光を安定して発生することができる。

【0014】非臨界位相整合にするためには、図1に示すように四ほう酸リチウム単結晶10をc軸に対してなす角度を $\theta_m$ とするとき、 $\theta_m = 90^\circ \pm 2^\circ$ の関係を満たす方向に光の伝搬方向が定められるように切り出す。 $\theta_m$ が上記範囲外になると、四ほう酸リチウム単結晶の

角度許容幅を越えるため、 $\theta_m$ は90度±2度に設定する。90度が最も望ましい。 $\theta_m$ を90度にすれば、チョクラスキー法やブリッジマン法により四ほう酸リチウム単結晶の<110>方位に切り出した種結晶でこの四ほう酸リチウム単結晶を育成した場合に、育成した単結晶のカット面を容易に決めることができる利点もある。また四ほう酸リチウム単結晶が負の一軸結晶であるため、波長変換素子として第2高調波を発生させるときのレーザ光とc軸(光軸)との角度 $\theta_m$ のみを非臨界位相整合条件として考慮すればよく、c面上の回転角 $\phi$ は考慮する必要はない。

【0015】アルゴンレーザの488nmの波長で非臨界位相整合条件に達するためには、四ほう酸リチウム単結晶の温度を13.5±10℃、好ましくは13.5±2℃にする必要がある。この温度範囲外では非臨界位相整合で488nmの波長変換を行うことができない。更に13.5±1℃が望ましい温度である。このため四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子は、ペルチェ素子などを用いた温度調整器で所定の温度を維持しながら、波長変換する必要がある。またアルゴンレーザの496.5nmの波長で非臨界位相整合条件に達するためには、四ほう酸リチウム単結晶の温度を300～500℃にする必要がある。四ほう酸リチウム単結晶の温度を300～500℃に限定したのは、300℃未満では非臨界位相整合波長が496.5nmより長波長となり、500℃を越えると非臨界位相整合波長が496.5nmより短波長となるからである。上記温度範囲は350～450℃であることが好ましく、400℃であることが更に好ましい。このため四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子は、電気炉などを用いた温度調整器で所定の温度を維持しながら、波長変換する必要がある。

#### 【0016】

【実施例】次に本発明の実施例を比較例とともに説明する。

<実施例1>四ほう酸リチウム単結晶の非臨界位相整合を調べるために、c軸に対して90度の方向に光の伝搬方向が定められるように切り出した、長さ1cm、幅1cm、高さ1cmの四ほう酸リチウム単結晶を用意した。この単結晶の(110)面を研磨してレーザ光の入射面とした。図2に示すように、この四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10をアルゴンレーザ11とプリズム12の間のレーザ光の光路に配置した。波長変換素子10をアルゴンレーザ11からの光の入射方向がそのc軸に対して90度になるように位置決めした。波長変換素子10の近傍にこの素子の温度を所定の温度に維持するペルチェ素子を用いた温度調整器13を配置した。この温度調整器13により四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10の温度を10℃から17℃まで段階的に上げていきながら、アルゴンレーザ11から10Wの連続波の波長約488nmのレーザ光を素子

10の(110)面に入射したところ、プリズム12で屈折した波長244nmの光の出力を測定した。ここで、素子10の温度が約12℃から約16℃の間でレーザ装置の出力が大きく上昇した。この温度範囲で発生した出力は11℃での出力の約12倍で1mWであった。この四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子のビームウオークオフ角度は0度であった。また非臨界位相整合条件が成立しているときの温度許容幅(temperature acceptance (FWHM))は、約3.5℃・cmであって、同じく角度許容幅は1.52°・cm<sup>1/2</sup>(27mrad・cm<sup>1/2</sup>)であった。このとき、四ほう酸リチウム単結晶ではビームウオークオフを生じず、非臨界位相整合による波長変換が可能になった。

【0017】<比較例1>比較のために、長さ5mm、幅5mm、高さ5mmのBBO(BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)結晶を用意した。この結晶からなる波長変換素子を実施例1と同様にアルゴンレーザとプリズムの間のレーザ光の光路に配置し、かつ波長変換素子の近傍にこの素子の温度を所定の温度に維持するペルチェ温度調整器を配置した。この温度調整器によりBBO結晶からなる波長変換素子の温度を実施例1と同様に段階的に上げていった。アルゴンレーザから10Wの連続波の波長488nmのレーザ光をBBOからなる波長変換素子に入射した。プリズムで屈折した波長244nmの光の出力を測定した。ここで、BBO結晶からなる波長変換素子を用いると、臨界位相整合型の結晶であるため、温度でなく結晶の角度を回転させることにより、最大8mWの244nmの光を確認した。このBBO結晶からなる波長変換素子のビームウオークオフ角度は4.66度であった。このときの角度許容幅は0.25mrad・cmであった。BBO結晶ではビームウオークオフを生じるので、非臨界位相整合によらない波長変換となる。

【0018】<実施例2>図3に示すアルゴンレーザの内部に長さ5cm、幅1cm、高さ1cmの四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10と温度調整器13を設置した。即ち、プラズマ管16の光路にその光の入射方向が四ほう酸リチウム単結晶のc軸に対して90度になるように位置決めして波長変換素子10を配置した。実施例1と同様に四ほう酸リチウム単結晶の(110)面をレーザ光の入射面とした。符号17は全反射ミラー、18はハーフミラーである出力ミラー、19はアパーチャである。実施例1の結果から、温度調整器13で素子10の温度を13.8℃に維持し、アルゴンレーザ内部共振器内でプラズマ管16から波長488nmのレーザ光を発生させた。波長変換素子10の波長変換により、出力ミラー18から波長244nmの光が発生した。この244nmの出力は200mWであり、10時間連続運転したところ、結晶は損傷せず出力は安定していた。

【0019】<比較例2>実施例2と同じ条件で、長さ

5 mm、幅5 mm、高さ5 mmのBBO ( $\text{BaB}_2\text{O}_4$ ) 結晶をアルゴンレーザの内部に設置し、実施例2と同様にプラズマ管から波長488 nmのレーザ光を発生させた。BBO結晶の波長変換により、出力ミラーから波長244 nmの光が発生した。この244 nmの出力は最大で100 mWしかなく、1時間連続運転したところ、結晶は破壊してしまい、レーザ耐力性に劣っていた。

【0020】<実施例3>高温での四ほう酸リチウム単結晶の非臨界位相整合を調べるために、c軸に対して90度の方向に光の伝搬方向が定められるように切り出した、長さ1 cm、幅1 cm、高さ1 cmの四ほう酸リチウム単結晶を用意した。この単結晶の(110)面を研磨してレーザ光の入射面とした。図4に示すように、この四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10をアルゴンレーザ11とプリズム12の間のレーザ光の光路に配置した。波長変換素子10をアルゴンレーザ11からの光の入射方向がそのc軸に対して90度になるように位置決めした。波長変換素子10の近傍にこの素子の温度を所定の温度に維持する電気炉を用いた温度調整器23を配置した。この温度調整器23により四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10の温度を室温から550℃まで段階的に上げていながら、アルゴンレーザ11から約5 Wの連続波の波長約496.5 nmのレーザ光を素子10の(110)面に入射したところ、プリズム12で屈折した波長248.25 nmの光の出力を測定した。ここで、素子10の温度が約300℃から約500℃の間でレーザ装置の出力が大きく上昇した。この温度範囲で発生した出力は室温での出力の約10倍で0.5 mWであった。この四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子のビームウオークオフ角度は0度であった。また非臨界位相整合条件が成立しているときの温度許容幅 (temperature acceptance (FWHM)) は、約3℃・cmであって、同じく角度許容幅は1.5°・cm<sup>1/2</sup> (27 mrad・cm<sup>1/2</sup>) であった。このとき、四ほう酸リチウム単結晶ではビームウオークオフを生じず、非臨界位相整合による波長変換が可能になった。更に長さ5 cm、幅1 cm、高さ1 cmの四ほう酸リチウム単結晶を用いて、上記と同様の実験を行ったところ、約300℃から約500℃の温度範囲で出力が最大3 mWで波長が248.25 nmの光を確認した。

【0021】<比較例3>比較のために、長さ0.5 cm、幅0.5 cm、高さ0.5 cmのBBO ( $\text{BaB}_2\text{O}_4$ ) 結晶を用意した。この結晶からなる波長変換素子を実施例3と同様にアルゴンレーザとプリズムの間のレーザ光の光路に配置し、かつ波長変換素子の近傍にこの素子の温度を所定の温度に維持する電気炉からなる温度調整器を配置した。この温度調整器によりBBO結晶からなる波長変換素子の温度を実施例3と同様に段階的に上げていった。アルゴンレーザから10 Wの連続波の波

長496.5 nmのレーザ光をBBOからなる波長変換素子に入射した。プリズムで屈折した波長248.25 nmの光の出力を測定した。ここで、BBO結晶からなる波長変換素子を用いると、臨界位相整合型の結晶であるため、温度でなく結晶の角度を回転させることにより、最大2 mWの248.25 nmの光を確認した。このBBO結晶からなる波長変換素子のビームウオークオフ角度は4.6度であった。このときの角度許容幅は0.25 mrad・cmであった。BBO結晶ではビームウオークオフを生じるので、非臨界位相整合によらない波長変換となる。

【0022】<実施例4>図5に示すアルゴンレーザの内部に長さ5 cm、幅1 cm、高さ1 cmの四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子10と電気炉からなる温度調整器23を設置した。即ち、プラズマ管16の光路にその光の入射方向が四ほう酸リチウム単結晶のc軸に対して90度になるように位置決めして波長変換素子10を配置した。実施例3と同様に四ほう酸リチウム単結晶の(110)面をレーザ光の入射面とした。符号17は全反射ミラー、18はハーフミラーである出力ミラー、19はアパーチャである。実施例3の結果から、温度調整器23で素子10の温度を300℃から500℃の範囲に維持し、アルゴンレーザ内部共振器内でプラズマ管16から波長496.5 nmのレーザ光を発生させた。波長変換素子10の波長変換により、出力ミラー18から波長248.25 nmの光が発生した。この248.25 nmの出力は100 mWであり、10時間連続運転したところ、結晶は損傷せず出力は安定していた。

【0023】<比較例4>実施例4と同じ条件で、長さ0.5 cm、幅1 cm、高さ1 cmのBBO ( $\text{BaB}_2\text{O}_4$ ) 結晶をアルゴンレーザの内部に設置し、実施例4と同様にプラズマ管から波長496.5 nmのレーザ光を発生させた。BBO結晶の波長変換により、出力ミラーから波長248.25 nmの光が発生した。この248.25 nmの出力は最大で100 mWであったけれども、時間安定性が悪く、1時間連続運転したところ、結晶は破壊してしまい、レーザ耐力性に劣っていた。

【0024】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、非臨界位相整合による波長変換に適した四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子を用いて、連続波の244 nm又は248.25 nmのレーザ光を安定して発生することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子の結晶軸の向きと光の伝搬方向の関係を示す図。

【図2】実施例1のアルゴンレーザ装置の構成図。

【図3】実施例2のアルゴンレーザ内部共振器の構成

図。

【図 4】実施例 3 のアルゴンレーザ装置の構成図。

【図 5】実施例 4 のアルゴンレーザ内部共振器の構成

図。

【符号の説明】

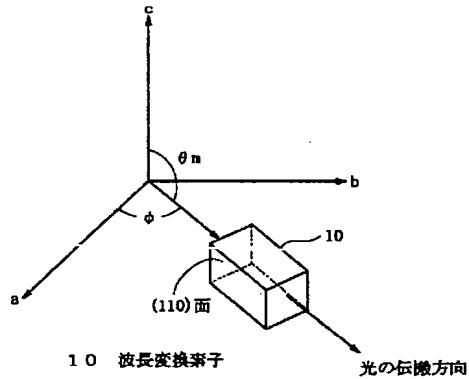
10 四ほう酸リチウム単結晶からなる波長変換素子

11 アルゴンレーザ

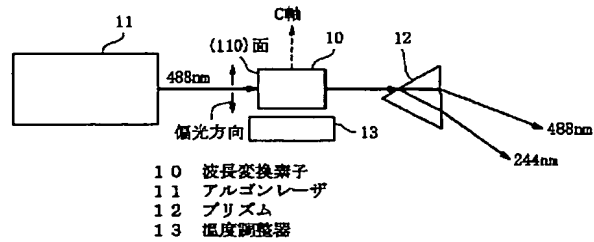
12 プリズム

13, 23 温度調整器

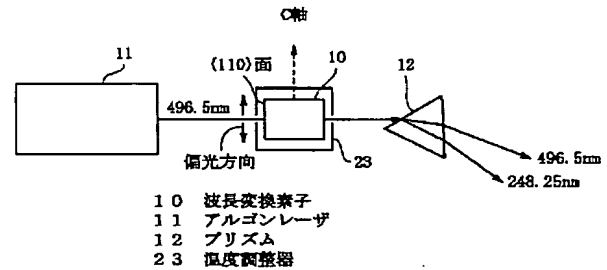
【図 1】



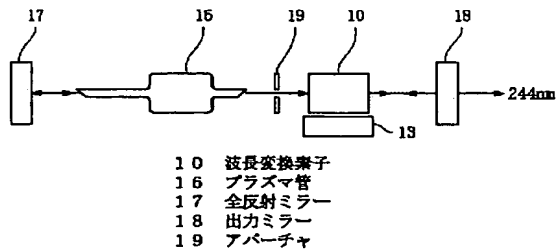
【図 2】



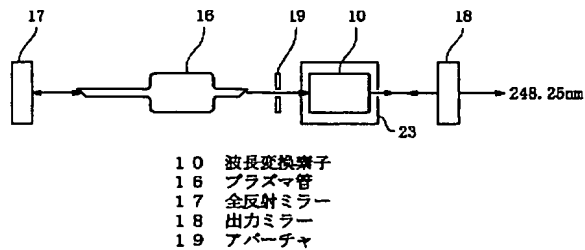
【図 4】



【図 3】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 バレンチン ペトロフ

ドイツ D-12489 ベルリン ルドウワ

シャウジー 6

Fターム(参考) 2K002 AA07 AB12 AB27 BA01 CA02

DA01 GA04 HA20

5F072 AB20 AC10 JJ05 JJ20 KK01

KK12 QQ02